

空間資料於洪災損失推估之應用

Application of Spatial Data to Damage Estimations in Flood

國立台灣大學農業工程研究所博士班研究生

國立台灣大學農業工程研究所教授

張 齡 方

蘇 明 道

Ling-Fang Chang

Ming-Daw Su

摘 要

隨著經濟發展、新市鎮密集開發等社會經濟方面之提昇，使得災害的損失風險及影響相對提高，在災害管理及減災方面，損失推估及危險度分析為相當重要的課題。然而區域災害損失的評估，涉及許多時間及空間上的資料，因此本研究中乃應用空間資料以更準確地掌握天然災害在時空上的變異性，同時以台北縣汐止市住宅區的淹水損失分析作為研討對象。研究中考量了土地使用及建築物類型之災害潛勢差異，同時以社會經濟資料，包括每戶居住人口、建物特性、一般家庭內裝部分的裝潢及基本配備等資料建立了淹水深度損失曲線，再應用淹水深度損失曲線法，將住宅區的淹水損失以一般家庭、機電設備、以及汽機車損失三方面來推估。此外由於住宅區特性將隨著時間而變動，故本研究中以人口普查資料中建物的分佈情形及各類型建物的基本特性，建立了一套映射的機制，以掌握住宅區面積隨時間變化的成長及窄縮情形。

關鍵詞：地理資訊系統，淹水損失，危險度分析。

ABSTRACT

The risk of damage from natural calamities increases in regions where the population is dense and the economy grows rapidly. Damage assessment and risk analysis are important issues in damage management and mitigation. Regional damage assessment processes are involved huge amount of data most of which are spatially and temporally distributed. Using flooding damage assessment for residential area as a pilot study, this paper focuses on the use of available spatial data to accurately capture the spatial characteristics of damage in natural calamities. The inundation region is subdivided into smaller areas based on land use and building types. Flooding damage is estimated based

on three categories: the common indoor assets, public utilities, and mobiles. A depth-damage curve is constructed from social-economic data such as persons per household, building characteristics, living style, and common indoor decorations and appliances. A mapping scheme is built for estimation of buildings and residential area distributions using census data to accommodate temporal change. The Shi-Ju City in Great Taipei Area was used as an example in this study.

Keywords: GIS, Flood damage, Risk analysis.

一、前言

當天然災害發生時，往往對社會造成損失，特別是在高人口密度及高經濟密度的區域。因此政府往往必須投入大量的預算於防災及減災的工作。然而就國家整體經濟學的觀點而言，在經濟資源有限的情況下，應以有限的資源以達最大的投資效益，因此防洪投資的成本與效益分析，為一相當重要的課題。有關工程之投資與效益間之關係，可以圖 1 之成本效益曲線來表示，橫軸代表不同尺度大小(即不同重現期距)的洪水事件，圖中之曲線則分別為各種防洪工程所需成本及其所可能獲致的利益，在此處工程獲利代表因完成該項工程所能減少之災害損失，亦即若不進行該項工程所可能導致之災害損失。當利益大於成本時，該區間的方案統稱為經濟可行之方案(如圖 1 中之灰色區域)，在各種可行性方案中，又以使(利益-成本)為最大之方案(如圖中之 A 點處)為經濟效率最佳之規劃方案。

一個完整的防洪體系架構(Grigg, 1985)需包含水文(Discharge Q -Return period T)、水理(Stage-Return period T)、損害評估(Damage-Stage)、以及危險度分析(Damage-Return period T 、Damage-Exceedance probability P)等方面(如圖 2 所示)。

傳統上洪災損失的推估方法，乃以單位面積之淹水損失乘上淹水面積來進行估算(Grigg, Botham, and Rice 1975, 蔡長泰 1995, 台灣水利規劃試驗所 1998, 方舟顧問公司 1997)。然而，從這些文獻當中可發現，淹水區域包含了不同的土地使用類別，住宅區亦涵蓋了各種不同特性之

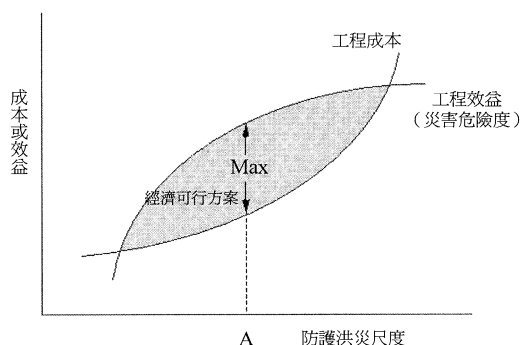


圖 1 防洪工程成本效益分析曲線圖

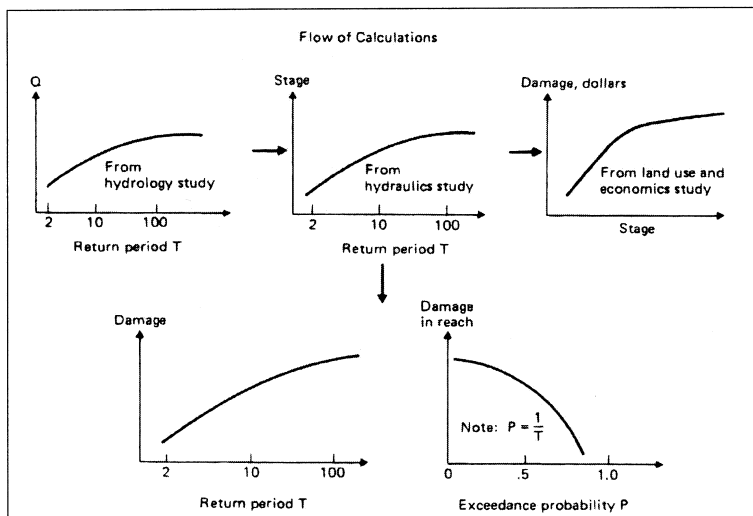
建物的類別，若僅以單位面積之產值作為淹水損失推估的機制恐有失偏頗，故本研究將利用地理資料以捕捉區域洪災損失在空間上的變異性，考量建築物類型、各類型住屋居住情形，各村里居住型態的差異等，以推估住宅區之淹水損失。

二、災損的種類與推估方法

(一) 損失的定義

所謂的損失，意指恢復成原始狀況所需的金額(Grigg and Heiweg, 1974)。淹水損失可分為直接損失、間接損失、次要損失、無形損失、不確定損失等五大類(Breaden 1973, Grigg & Heiweg 1975, Grigg et al. 1976)：

1. 直接損失(Direct Damages)：意指由淹水災害直接所造成的損失。直接損失主要可分為建築物以及公共設施兩方面；建築物方面的損失，與建築物之類型有很大的關係。
2. 間接損失(Indirect Damages)：所謂的間接損失，並非由災害直接造成的損失，也



(Source: Grigg 1985)

圖 2 洪災損失頻率計算概念圖

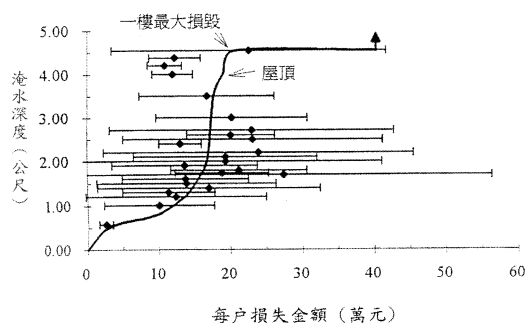
就是直接損失之外，卻因為直接損失而造成的間接災害。例如：人民短時間內的失業、短期內營業之中斷、交通路線改變等損失稱之。(Grigg & Heiweg 1974)

3. 次要損失 (Secondary Damages)：次要損失指的是政府為了重整解決災後的情形，許多社會服務品質低落，甚至社會經濟轉變所造成的損失。然而根據 1973 年 Breaden 的研究，就整體社會經濟的角度而言，災後許多相關重整災區之行業，卻可能因此而帶來大量的收入，因此次要損失，恰可與社會利益相抵，故本研究將不考慮這方面的損失。(Grigg & Heiweg 1974)

4. 無形損失 (Intangible Damages)：環境品質低落、社會價值觀改變、美學上的損害、生命的傷亡等，這些都是無法以金錢量化的，故統稱之為無法量化之損失。

5. 不確定損失 (Uncertainty Damages)：由於人們對於不確定的天然災害產生恐懼，為了確保生命財產之安全所付出的代價（例如：購買保險等稱之為不確定損失。

本研究主要重點在於說明地理資料庫等空間資料在區域淹水損失推估之應用，故先以住宅區的直接損失為研討範圍。

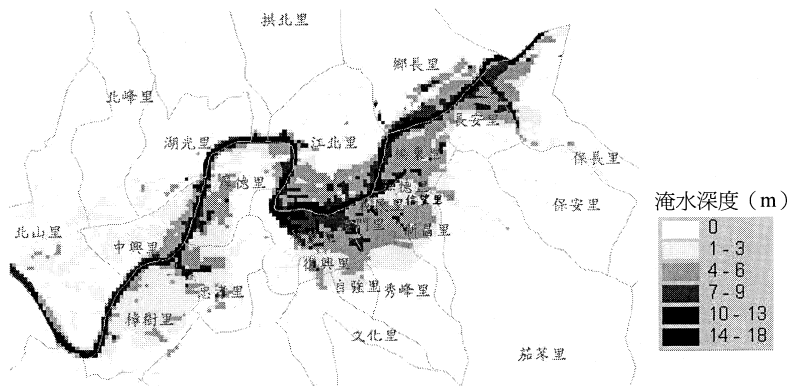


資料來源：方舟顧問公司(1997)。

圖 3 潭底洋地區商用住戶之淹水深度損失曲線

(二)淹水深度損失曲線

美國聯邦緊急事務管理總署 (Federal Emergency Management Agency ，簡稱 FEMA) 曾針對住宅區一般一樓無地下室的淹水深度與損失之關係進行研究，並繪得其關係曲線，藉由曲線的淹水深度與淹水損失關係可推估各個淹水深度下一層樓單一住戶之淹水損失。方舟顧問公司 (1997) 蒐集了高雄縣岡山鎮之潭底洋地區於 1994 年八三及八一二水災所造成的損失資料，並分析整理繪得的淹水深度損失曲線如圖 3



（資料來源：王如意等，1999）。

圖 4 汐止市 200 年重現期下之淹水深度及範圍

所示。圖中黑點為岡山鎮公所收集之淹水資料之淹水損失平均值，橫線為其變異範圍。由於這些資料點雖位於同一區域，卻存在著社會經濟因子，如所得等的變異，因此可發現調查之淹水資料呈現相當大的變異。此外這條曲線由於尚未考慮空間因子，因此無法應用於其他區域。隨時間改變區域的變化情形，也是該曲線無法考量的。然而應用地理資訊系統，將區域內空間的變異納入考量，恰可解決空間變異的問題，此外本研究將於後面章節詳述應用映射的機制以考量區域隨時間成長而影響區域危險度之變動情形。

三、資料之整理與建置

(一) DTM 及淹水潛勢圖

針對研究區域，本研究乃以 40m×40m 為解析度的數值高程資料(DTM)提供水理模式進行不同重現期距下的淹水範圍及深度模擬，如圖 4 所示為汐止市在 200 年重現期距的淹水深度及範圍圖。

(二) 建築物類型

隨著建築物類型的差異，住戶特性、內裝家具或器具的擺設皆有所差異。為了考量不同建物類型淹水潛勢的差異，本研究根據台北市建管處二十八萬多筆的資料進行建物特性分析，並參考

行政院主計處人口及住戶普查的結果，根據住戶特性的差異，將建築物類型分為七大類：

1. 傳統農村式：傳統之三合院或四合院建築，或在農村之房屋環繞一空曠院落（如晒穀場）者。
2. 獨院或雙拼式：獨院及雙拼式房屋兩者之原先建築目的，係專供一戶居住使用。獨院係指房屋四週均有院落包圍者；而雙拼式係指房屋三邊有院落，但另外一邊為共用牆壁者。
3. 連棟式：除邊間外，其餘各房屋之左右兩邊，皆連接其他房屋之牆壁，並各有獨立之對外門戶。如其為一層以上建築時，每棟獨用樓梯，應設在個別房屋內，始能稱為連棟式類型。
4. 五樓以下公寓：建築物內，設置有兩戶以上獨立門戶之住宅單位樓房，並且在建築物內，設有公共之樓梯，以通往各獨立門戶之住宅單位者，稱為公寓。如其樓層在五樓以下者稱之為五樓以下公寓。
5. 六一十一樓公寓：六至十一樓公寓，其建築內設有公共之電梯或樓梯，以通往各獨立門戶之住宅單位者。
6. 十二樓大樓：十二樓大樓，其建築內設有公共之電梯或樓梯，以通往各獨立門戶之住宅單位者。

表 1 台北市各類型建築物特性

建築物類型	平均每層居住戶數(戶/層)	平均每棟樓層數(層/棟)	平均基地面積(m ²)
傳統農村式	1	1	330
獨院或雙拼式	1	4	66
連棟式	1	4	66
1-5 樓公寓	2	4	225
6-11 樓公寓	3	7.4	337
12 樓大樓	4	12	449
13 樓以上大樓	5	15	561

資料來源：台北市政府建管處及住戶普查資料整理

7. 十三樓以上大樓：十三樓以上大樓，其建築內設有公共之電梯或樓梯，以通往各獨立門戶之住宅單位者。

建築物分類時的依據乃是考量建築特性的差異，例如傳統農村式多屬於大面積一層樓的房子，獨院或雙拼式建築為四周有院落的透天房屋，連棟式為透天的房屋，至於公寓及大樓的部分由於機電設備價值會隨著樓層數的增加而提高，故分為五樓以下公寓、六至十一樓公寓、十二樓大樓、十三樓以上大樓等予以考量。其中十二樓大樓獨立分類予以探討的原因是由於早期十三樓以上的建物在建造時有較多的法令限制，造成都會區內十二樓的建築物數量佔相當大的比例，為了避免造成建築特性（如平均基地面積、平均樓層數）的高估或低估情形，因此將十二樓大樓獨立分類出予以探討。

進一步考量淹水特性的差異時，可將傳統農村式、獨院或雙拼式建築及連棟式建築歸類為單一家庭居住在同一建物的單一家庭居住型態，五樓以下公寓、六至十一樓公寓、十二樓大樓、十三樓以上大樓則屬於一棟建物中有許多家庭居住的集合住宅居住型態。前者相較於集合住宅，具有二樓以上的空間以堆放較昂貴的家電或家俱，以減少淹水損失的風險，因此綜合以上建築物特性、住戶特性及淹水潛勢的差異，除了將建築物分為七大類以掌握各類別的建築物特性、住戶特性，並於淹水損失推估時，分別針對單一住宅及集合住宅兩種類型的居住型態進行淹水深度損失曲線建立。

(三) 人口分佈

人口資料取自於民國七十九年人口及住戶普查資料的村里檔資料。人口及住戶為政府每十年定期舉行之國勢調查的一種，較戶政資料能更準確地掌握實際的人口分佈情形，兩次普查年間的人口資料，由於受限於普查資料的更新頻率，故以戶政機關的人口總數進行估算。

(四) 居住型態

居住型態（例如房間面積、房間數、每家庭的人口數）是從人口普查資料和建築物的資料庫分析的，從這些資料中掌握一般家庭的特性，再配合統計要覽中所列舉的內裝的配備情形，則可作為淹水深度損失關係曲線的研擬基礎。

(五) 內裝的設備

內裝部分包括家電、家具、及裝潢等之損失及淹水後之清潔費用等。由於內裝部分的各項設備損失，與淹水深度有密切的關係，故本研究乃以淹水深度損失經驗曲線法針對內裝部分的損失進行推估。為了掌握一般家庭內裝部分的基本配備，首先採用政府調查統計所列舉的各項設備之普及率（如表 2 所示），並選取普及率 30% 以上的項目作為內裝部分基本配備的基礎；再針對前一步驟所選取之一般家庭可能造成損失的項目，進行各項目市場價格及擺放高度的調查。此外淹水所帶來的污泥及垃圾清潔費用亦是一項重要的調查項目。

(六) 汽機車

對於時常發生淹水的區域，人民常會將汽機車開往高處停放，以避免洪災發生時的損失。由於汽機車的流動及變異性較大，因此在汽機車損失部分改以鄉鎮市為單位，由統計要覽中可得知各鄉鎮市內的每百戶擁有數則可進一步推算平均每戶擁有率，乘上由人口數所推算的戶數資料，則可得知各鄉鎮市的汽機車總數，配合各鄉鎮市淹水面積及汽機車的損失資料，即可推算出汽機車的淹水損失。

表 2 各家電平均普及率

序	項 目	普及率 (%)
1	彩色電視機	99.36
2	電話	99.16
3	洗衣機	96.52
4	排油煙機	96.04
5	熱水器	93.82
6	冷暖氣機	88.37
7	有線電視頻道設備	73.52
8	錄放影機	72.27
9	音響	60.10
10	機車	59.48
11	吸塵器	57.38
12	電磁爐	57.20
13	微波爐 (含烤箱)	57.02
14	汽車	53.12
15	家用電腦	47.82
16	開飲機	46.11
17	除濕機	42.68
18	烘衣機	33.57
19	電視遊樂器	22.82
20	傳真機	22.39
21	鋼琴 (含電子琴)	20.95
22	攝影機	17.52
23	答錄機	16.73
24	數據機	14.29
25	碟影機	10.40
26	洗碗機	7.16

(資料來源：台北市民國八十六年統計要覽)

(七) 公共設施

公共設施包括機電設備(含電梯、車庫門、發電機、空調設備、消防系統、與抽水設備等)。在機電設備的損失推估方面，高樓層的住戶雖然沒有內裝部分的淹水損失，但仍必須平均分攤機電設備的損失。故機電設備的損失將針對不同的建築物類型，以單位戶數所需負擔損失的方式進行推估，各類型建物單位戶數公共設施的淹水損失如表 3 所示。

表 3 各類型建物公共設施之損失

建築物類型	每棟建物公共設施之損失(10 ⁴ NTS)	平均每戶損失(10 ⁴ NTS)
傳統農村式	0	0
獨院或雙拼式	0	0
連棟式	0	0
1-5 樓公寓	0	0
6-11 樓公寓	60	1.2
12 樓大樓	75	2.1
13 樓以上大樓	150	2.65

(資料來源：國稅局瑞芳稽徵處汐止辦事處提供之民國八十七年瑞伯及芭比絲颱風損失資料整理分析)

四、淹水損失推估模式之建立

(一) 淹水深度損失曲線之建立

藉由統計要覽的資訊可掌握一般家庭的設備擁有情形，並針對每一項設備的服務及維修部門進行市場調查後，可進而獲知各項設備在各個淹水深度下的淹水損失情形，再將各設備的損失狀況累加後，即可得一般家庭淹水損失深度與損失之關係。再配合單一家庭住宅及集合住宅的擺設情形，則可獲得單一家庭與集合住宅的淹水深度損失關係曲線圖。(如圖 5 所示)

(二) 人口推估建物分佈的映射關係建立

由於本文中損失推估的主要用意在於進行風險管理及規劃，然而事實上規劃中的洪水事件並不是發生於現在，而是乃發生於未來，因此許多資料例如人口、建築物等的資料將隨著時間而變動。為了推估區域淹水損失，將來人口和建築物的分佈為應該掌握的資料。有關未來人口之預估，本研究擬應用行政院經濟建設委員會人力規劃處(1999)所設計的民國 87 年至民國 140 年之人口推計結果；至於欲掌握未來建築物分佈資料情形是相當困難的。故本研究建立一套由人口推估建物分佈的映射機制以推估未來建築物分佈情形。

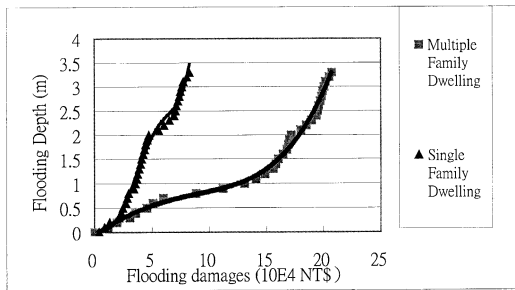


圖 5 一般家庭之淹水損失曲線

圖 5 為由過去資料所推得的淹水深度損失曲線所示，為了推估發生在現在或將來的淹水損失，首先藉由行政院經濟建設委員會人力規劃處建立的人口推計模式可推估的民國 87 年至民國 140 年之人口情形，解未來之人口情形。將推估之人口數除以人口普查資料庫中之平均每戶人口數，可得未來幾年的戶數。另外由居住品質調查資料庫各種類型建築物的居住戶數（如圖 6 所示），與建管處所提供之各種類型建築物之平均戶數資料（如表 1），則推得各類型建築物的棟數及百分比。將此百分比應用於圖 5 中，配合戶數之推估，可推求未來各類型建築物的棟數情形；再配合上建管資料各類型建築物平均面積之結果相乘，並予以加總，則可推得現在或未來任意時間點上的住宅區的面積。為了瞭解隨時間變化，研究區域危險度的變化情形，本研究分別針對民國 79 年及民國 87 年的淹水災害潛勢進行評估。

五、區域淹水損失推估結果

進行淹水損失評估時，是否能夠適當地捕獲損失特性的空間變異性，關係著是否能夠更準確地推估區域淹水損失，由於不同土地使用類型其損失特性不同，因此區域淹水損失推估應考量土地使用類型的分佈情形，並且單獨地估算每一類別的損害。住宅區的淹水損失亦然，因為不同生活型態及和建築物類型將造成不同的損失結果，淹水損失推估模式的建立則考量了生活型態及建物類型的空間變異性。

藉由淹水損失推估模式的建立，則可推估汐

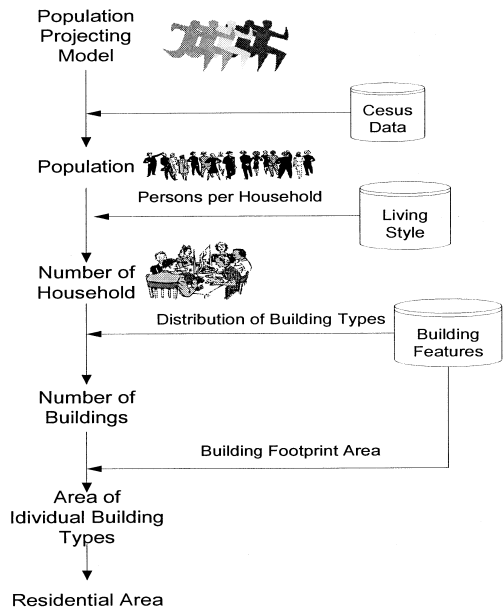


圖 6 人口推估建物分佈映射關係概念圖

止市 1.1 年、2 年、10 年、25 年、100 年、200 年重現期距下之淹水損失。利用地理資訊系統空間分析的功能，將各淹水圖層村里圖層疊圖分析後，可得各村里在各種重現期距下之不同深度的淹水面積。配合映射機制所推估之建物分佈情形，則可推求不同重現期距下各村里不同淹水深度各建物之淹沒棟數，並配合所建立之水深度損失關係曲線則可推估不同重現期距下區域之淹水損失，將淹水損失與事件發生的機率繪圖則可得危險度曲線圖（如圖 7 所示）。

區域洪災危險度的定義為危險度曲線下的曲線面積，意指該區域平均一年發生洪災的損失期望值，由圖 6 研究結果，台北縣汐止市 79 年平均一年住宅區發生洪災的直接損失期望值約為 282 百萬元，民國 87 年平均一年住宅區發生洪災的直接損失期望值約為 574 百萬元，8 年間隨著經濟的成長，危險度增加 292 百萬元。

六、討論

本研究在建立住宅區淹水損失推估模式時，並未進行地毯式之現場調查的方式來進行災損評估的原因在於現場調查將耗費大量的人

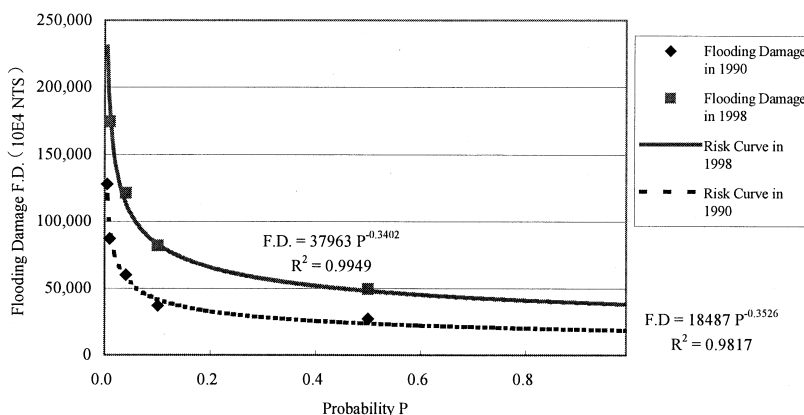


圖 7 台北縣汐止市住宅區洪災危險度曲線

力、時間、及物力，且因為一區域的社會狀況與經濟活動是瞬息萬變的，即使經由現場調查的資料亦很難真正代表現況，而且因為研究之目的在於建立提供災害管理參考之災損評估模式，不需要去掌握個別個體之細微差異，因此本研究建立一套能定期掌握更新資料的機制，能迅速並合理推估住宅區淹水損失。

在建立各項家電及家俱之淹水深度與損失之關係時，發現許多特別之處，例如：即使冰箱整個淹沒，由於其壓縮機及循環系統皆為密閉設計，加上其又恰為浮體，因此僅需花幾百元至一千多元的清理費用及維修即可；反之以電視機為例，若是淹水深度超過電視按鍵開關，則電視機完全損失，由此可得知，針對一些普及率高之家電或家俱，確有必要進行細部的淹水深度與損失之關係。

人口與建築物棟數映射關係之建立時，曾假設各類型建物在村里內的分佈均勻，就區域規劃的觀點，村里為相當小的單位，因此應不致造成太大的誤差。

七、結論與建議

(一) 結論

本研究應用地理資訊系統管理土地使用、人口、建築物等資料空間歧異性，如此較傳統上以單位面積的淹水損失可更合理地推估損失區域之淹水損失。

住宅區淹水損失推估分為內裝部分、機電設備、汽機車三方面來推估，並建立了內裝部分的淹水深度損失經驗曲線。此外為了掌握住宅區的成長或縮減情形，研究中建立了以人口推估各類型建築物棟數及住宅區面積的映射關係，並結合人口推計模式，如此可更合理的模擬住宅區面積之變化。

區域調整部分，由於本研究乃針對台北縣汐止市而建立淹水深度損失曲線，為了使住宅區的淹水損失推估模式能適用於各個區域，必須將圖 5 的一般家庭內裝部分之淹水深度損失曲線無因次化，則橫軸 100% 損失代表欲應用之區域的最大損失。欲應用之區域的最大損失則可將汐止市的最大損失經由區域調整的因子（如地價、國民所得、稅收、平均每戶支出總實數等相關因子）來進行推算。

經由本文建立的淹水深度損失曲線計算法所估算的損失，乃是現在這個時間點上的價值，若期望針對未來時間點進行淹水損失的估算時，需考量通貨膨脹等經濟因子，並以物價指數將損失換為現值。

區域的洪災危險度可作為防災及減災等工程設計規劃時的參考指標，由於本研究僅針對住宅區的危險度進行分析，尚未考量工商業區、農業區及公共設施的損失，因此台北縣汐止市，每年的損失期望值將遠大於 574 百萬元。此外藉由不同年間的危險度的推估，可掌握該區域隨著經

濟成長下危險度的變化情形。

(二) 建議

除了住宅區的淹水損失推估之外，工商業區、農業區、公共設施等淹水損失推估模式之建置都是困難度相當高的工作。舉例而言，工商業根據臺閩地區工商普查標準分類共包括了 92 中類行業別，不同產業之淹水特性亦不相同，如何針對複雜的工商行業別以淹水損失特性之差異進行分類並建立損失推估的機制，將是工商業別淹水損失推估可能面臨的挑戰。農業區部分隨著作物種類、養殖畜產種類的不同，淹水損失及淹水深度損失曲線特性將有很大的差異，此外洪水事件發生的季節及浸水時間等時間的因子，都可能影響淹水之損失值。公共設施的部分涵蓋了許多點（學校、電廠、淨水廠、圖書館等）、線（捷運、鐵路等）、面（道路、橋樑等）複雜的設施，各項設施淹水損失機制的建立將是此部分可能面臨的困難。

本研究僅針對區域住宅區淹水損失推估進行研討，而其它土地使用類型的淹水損失推估亦為相當重要的範疇，因此建議未來的相關研究可針對其它土地使用類型之淹水損失推估模式進行研討。此外區域調整係數相關因子的確立與多變量分析，亦可作為未來的研究方向。

八、參考文獻

1. Breaden, J. P., The generation of flood damage time sequences, University of Kentucky Water Resources Institute Paper, No. 32, 1973.
2. Dennis J Parker, Colon H Green, and Paul M Thompson, Urban Flood Projection Benefits – a project appraisal guide, Gower Technical Press, 1987.
3. Flood Damage Factors – Depth Damage Curves, Elevation Frequency Curves, Standard Rate Tables, Federal Insurance Administration, September, 1970.
4. Grigg, N. S. and O. J. Heiweg, Estimating direct residential flood damage in urban areas, Colorado State University, 1974.
5. Nell S. Grigg and Otto J. Heiweg, State-of-the-Art of estimating flood damage in urban areas, Water Resources Bulletin, American Water resources association, Vol. 11, No. 2, 1975.
6. Neil S. Grigg, Leslie H. Botham, Leonard Rice, W.J. Shoemaker, and L. Scott Tucker, Urban Drainage and Flood Control Projects Economic, Legal and Financial Aspects, Hydrology paper, Colorado State University Fort Collins, Colorado, February, 1976.
7. Nell S. Grigg, Water Resources Plannig, McGraw-Hill, 1985.
8. Peuquet, Donna J., and Duane F. Marble, Introductory readings in Geographic Information Systems, Taylor & Francis, pp. 371, 1990.
9. 方舟顧問有限公司，「洪災保險制度（潭底洋地區）案例調查分析」，經濟部水資源局，1997。
10. 行政院經濟建設委員會人力規劃處，「中華民國台灣地區民國 87 年至 140 年人口推計」，1999。
11. 台灣省水利規劃試驗所，「區域排水規劃」，台灣省政府水利處，1998。
12. 台灣大學農業工程研究所，「台北盆地及鹽水溪流流域示範區颶風災害危險度分析（一）」，經濟部水資源局，1999。
13. 江渾欽、洪鴻智，「HAZ-Taiwan 地震災害損失成本及其比率推估-以建築結構物破壞引起之直接損失為探討對象」，內政部營建署，1999。
14. 蔡長泰、游保杉等，「地理資訊系統在淹水域警上之應用（三）」，國立成功大學水利暨海洋工程學系，1995。

收稿日期：民國 89 年 11 月 29 日

接受日期：民國 90 年 2 月 16 日